

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

18.12.03

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 2 年 1 2 月 2 4 日  
Date of Application:

出 願 番 号            特 願 2 0 0 2 - 3 7 1 9 4 2  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 2 - 3 7 1 9 4 2 ]

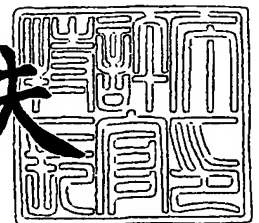
出 願 人            J F E ス チ ール 株 式 会 社  
Applicant(s):

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年   3 月   4 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今 井 康 夫



BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願

【整理番号】 02J00851

【提出日】 平成14年12月24日

【あて先】 特許庁長官 太田 信一郎 殿

【国際特許分類】 C22C 38/00

【発明の名称】 高周波磁気特性に優れた F e - C r - S i 系無方向性電  
磁鋼板

【請求項の数】 5

【発明者】

【住所又は居所】 岡山県倉敷市水島川崎通 1 丁目（番地なし） 川崎製鉄  
株式会社 水島製鉄所内

【氏名】 大村 健

【発明者】

【住所又は居所】 岡山県倉敷市水島川崎通 1 丁目（番地なし） 川崎製鉄  
株式会社 水島製鉄所内

【氏名】 河野 雅昭

【発明者】

【住所又は居所】 岡山県倉敷市水島川崎通 1 丁目（番地なし） 川崎製鉄  
株式会社 水島製鉄所内

【氏名】 河野 正樹

【特許出願人】

【識別番号】 000001258

【氏名又は名称】 川崎製鉄株式会社

【代理人】

【識別番号】 100072051

【弁理士】

【氏名又は名称】 杉村 興作

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100059258

【弁理士】

【氏名又は名称】 杉村 暁秀

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 074997

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0018860

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 高周波磁気特性に優れたFe-Cr-Si系無方向性電磁鋼板

【特許請求の範囲】

【請求項1】 Si: 2.5 ~ 10.0 mass%、Cr: 1.5 ~ 20.0 mass%、C: 0.0060 mass%以下、N: 0.0020 mass%以下、S: 0.0050 mass%以下、Ti: 0.0050 mass%以下およびNb: 0.0050 mass%以下を含有し、残部がFeおよび不可避免の不純物からなり、鋼の電気抵抗が $60 \mu \Omega \text{cm}$ 以上、鋼板内部のCr系窒化物の存在割合が $1 \text{ mm}^3$ 当たり2500個以下であることを特徴とする、高周波磁気特性に優れたFe-Cr-Si系無方向性電磁鋼板。

【請求項2】 Si: 2.5 ~ 10.0 mass%、Cr: 1.5 ~ 20.0 mass%、C: 0.0060 mass%以下、N: 0.0020 mass%以下、S: 0.0050 mass%以下、Ti: 0.0050 mass%以下およびNb: 0.0050 mass%以下を含み、さらにSbおよびSnのいずれか1種または2種を、それぞれSb: 0.04超~1.0 mass%およびSn: 0.06超~1.0 mass%の範囲で含有し、残部がFeおよび不可避免の不純物からなり、鋼の電気抵抗が $60 \mu \Omega \text{cm}$ 以上、鋼板内部のCr系窒化物の存在割合が $1 \text{ mm}^3$ 当たり2500個以下であることを特徴とする、高周波磁気特性に優れたFe-Cr-Si系無方向性電磁鋼板。

【請求項3】 Si: 2.5 ~ 10.0 mass%、Cr: 1.5 ~ 20.0 mass%、Al: 0.1 ~ 2.0 mass%、C: 0.0060 mass%以下、N: 0.0040 mass%以下、S: 0.0050 mass%以下、Ti: 0.0050 mass%以下およびNb: 0.0050 mass%以下を含有し、残部がFeおよび不可避免の不純物からなり、鋼の電気抵抗が $60 \mu \Omega \text{cm}$ 以上、鋼板内部のCr系窒化物の存在割合が $1 \text{ mm}^3$ 当たり2500個以下であることを特徴とする、高周波磁気特性に優れたFe-Cr-Si系無方向性電磁鋼板。

【請求項4】 Si: 2.5 ~ 10.0 mass%、Cr: 1.5 ~ 20.0 mass%、Al: 0.1 ~ 2.0 mass%、C: 0.0060 mass%以下、N: 0.0040 mass%以下、S: 0.0050 mass%以下、Ti: 0.0050 mass%以下およびNb: 0.0050 mass%以下を含み、さらにSbおよびSnのいずれか1種または2種を、それぞれSb: 0.0050 ~ 1.0 mass%およびSn: 0.0050 ~ 1.0 mass%の範囲で含有し、残部がFeおよび不可避免の不純物からなり、鋼の電気抵抗が $60 \mu \Omega \text{cm}$ 以上、鋼板内部のCr系窒化物の存在割合が $1 \text{ mm}^3$ 当たり2500個以下であることを特徴とする、高周波磁気特性に優れたFe-

Cr-Si系無方向性電磁鋼板。

【請求項5】 請求項1～4のいずれか1項において、さらにMn：1.0 mass%以下およびP：1.0 mass%以下のいずれか1種又は2種を含有することを特徴とする、高周波磁気特性に優れたFe-Cr-Si系無方向性電磁鋼板。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、電気自動車用モータ、マイクロガスタービン用発電機および高周波リアクトル等の鉄心に用いて好適な高周波用無方向性電磁鋼板、高周波域の中でも特に1 kHz以上の周波数域で優れた磁気特性を有するFe-Cr-Si系無方向性電磁鋼板に関するものである。なお、ここでいう「高周波数域」とは、数100Hz以上の周波数域をいうこととする。

【0002】

【従来の技術】

近年、従来よりも高い周波数域で使用される機器、例えば電気自動車用モータ、マイクロガスタービン、高周波リアクトルなどの使用が増加し、高周波数域での磁気特性に優れた電磁鋼板が要求されている。これらの機器は、数百Hz～数十kHzの高周波数域で使用され、従来これらの用途には、鋼にSiを添加して鉄損を改善したFe-Si系無方向性電磁鋼板が用いられている。しかし、従来のFe-Si系高周波用無方向性電磁鋼板は、鋼中のSi含有量が3.5 mass%以下で鋼の電気抵抗が低く、特に1 kHz以上の高周波域では鉄損が大きくなる不利があり、この社会のニーズに対応するためには、新たな高周波数域対応の電磁鋼板の開発が必須である。

【0003】

さて、上記高周波数域での鉄損特性を改善するには、鋼の電気抵抗を高めることが重要である。鋼の電気抵抗を高める手段としては、鋼中のSiやAlの含有量を増加させる手法をとるのが一般的である。しかし、Si量が3.5 mass%を超えると、鋼が極めて硬くなって脆くなり加工性が劣化するため、通常の圧延による製造、加工が困難になってしまう。特に、Si量が5.0 mass%を超える場合には、冷間

加工は勿論のこと、温間加工も不可能になってしまう。

#### 【0004】

ここで、鋼中にCrを添加することによって、高Si量とせずに鋼の電気抵抗を高めるための技術が、特許文献1に記載されている。しかしながら、そのSi含有量は通常の珪素鋼板のそれを超えたものではなく、その使用周波数域も従来の高周波用途の電磁鋼板と同様に、1kHz未満に対応したものであり、1kHz以上の領域では十分な高周波磁気特性が得られず、近年求められている数百Hz～数十kHzに対応した高周波用無方向性電磁鋼板としては不十分である。

#### 【0005】

これに対して、出願人は、高Si鋼にCrを添加することにより、高Si鋼の脆性が改善され、高い電気抵抗と加工性とを両立させ得ることを見出し、先に特許文献2において、高周波磁気特性に優れたFe-Cr-Si系電磁鋼板を提案するに到った。この鋼板は、10kHz以上の周波数域では高い電気抵抗が十分に生かされ、優れた磁気特性を示す。しかしながら、10kHz以下の高周波域では、従来の電磁鋼板よりも良好な磁気特性を示すものの、高Si、高Cr含有による高い電気抵抗が十分に生かされていないところに、改善の余地があった。

#### 【0006】

##### 【特許文献1】

特開平11-229095号公報

##### 【特許文献2】

特開平11-343544号公報

#### 【0007】

##### 【発明が解決しようとする課題】

そこで、この発明の目的は、高Si並びに高Cr含有によって得られる高い電気抵抗が10kHz以下の高周波域では、十分に活用されていない問題を有利に解決し、高周波域、特に1kHz以上の周波数域で磁気特性に優れたFe-Cr-Si系無方向性電磁鋼板を提供することにある。

#### 【0008】

##### 【課題を解決するための手段】

発明者らは、上記の問題について研究を重ねた結果、一般的に高周波数域では渦電流損の割合が大であるが、Fe-Cr-Si系電磁鋼板では履歴損の影響が比較的大きく、高い電気抵抗による渦電流損の低減が高周波磁気特性に十分に生かされなかったのは、この履歴損の劣化が原因であることが判明した。

#### 【0009】

そこで、Fe-Cr-Si系電磁鋼板の履歴損の劣化原因について、さらに検討した。

表1に示す成分系の鋼1～8を、熱間および冷間圧延によって0.25mm厚とし、仕上げ焼鈍を施した。なお、仕上げ焼鈍条件は、焼鈍雰囲気窒素+水素雰囲気（N<sub>2</sub> : H<sub>2</sub> = 70 : 30）とし、焼鈍温度を980℃とした。

#### 【0010】

【表1】

鋼記号	成分組成											
	C (ppm)	Si (%)	Mn (%)	P (ppm)	S (ppm)	Al (%)	N (ppm)	O (ppm)	Sb (%)	Ti (%)	Nb (%)	Cr (%)
1	10	3.01	0.01	20	10	0.005	17	12	≤0.001	≤0.001	≤0.001	1.04
2	16	3.1	0.02	20	10	0.005	13	19	≤0.001	≤0.001	≤0.001	1.49
3	19	3.05	0.01	20	10	0.005	15	15	≤0.001	≤0.001	≤0.001	2.1
4	20	2.95	0.01	20	10	0.005	14	16	≤0.001	≤0.001	≤0.001	2.55
5	16	3.06	0.01	10	10	0.005	10	15	≤0.001	≤0.001	≤0.001	3.01
6	11	3.04	0.01	10	15	0.005	9	15	≤0.001	≤0.001	≤0.001	3.55
7	20	2.98	0.02	10	15	0.005	16	18	≤0.001	≤0.001	≤0.001	4.1
8	18	3.1	0.02	10	15	0.005	15	13	≤0.001	≤0.001	≤0.001	4.49
9	18	2.9	0.01	20	7	0.005	18	11	0.09	≤0.001	≤0.001	2.51
10	16	3.06	0.01	10	10	0.005	7	15	0.045	≤0.001	≤0.001	3.46
11	21	2.99	0.01	10	10	0.55	22	18	≤0.001	≤0.001	≤0.001	3
12	19	3.3	0.02	15	7	0.35	17	16	0.02	≤0.001	≤0.001	3.1

【0011】



その結果、上記鋼 1～8 を上記条件で仕上げ焼鈍を行うことによって製造した鋼板はいずれも、仕上げ焼鈍後の鋼中には、数百nmレベルの微細なCr系窒化物が観察された。一例として、鋼 5 を用い上記条件で仕上げ焼鈍を行うことによって製造した鋼板の内部を走査型電子顕微鏡 (SEM) で撮影したときの断面 SEM 写真を図 1 に示す。

#### 【0012】

次に、異なるCr含有量 (1.0～4.5 mass%) を有する種々の鋼を上記条件で仕上げ焼鈍を行い、仕上げ焼鈍時の窒化量 (仕上げ焼鈍前後の含有窒素量の差) および履歴損を測定した。図 2 は、鋼中のCr含有量を横軸とし、仕上げ焼鈍時の窒化量および履歴損を縦軸としてこれらの関係を示したグラフである。なお、図 2 において、棒グラフが窒化量であり、折れ線グラフが履歴損である。

#### 【0013】

図 2 の結果から、鋼中のCr含有量が多いほど、仕上げ焼鈍時の窒化量は多くなり、それに伴って履歴損が劣化しているのがわかる。

#### 【0014】

以上より、Cr系窒化物は、仕上げ焼鈍時に窒化されて析出しやすく、このCr系窒化物の析出が履歴損を劣化させているものと考えられる。

#### 【0015】

そこで、この仕上げ焼鈍中の窒化により析出するCr系窒化物の析出抑制手段について検討を行った。その結果、Arガス雰囲気などの窒化が起らない雰囲気で焼鈍を行なうこと、あるいは窒化抑制元素であるSb、Snおよび／または窒化物生成元素であるAlを鋼材素材に添加するとともに、これらのSb、Sn、Al添加量に合わせて窒素分圧を調整した雰囲気中で焼鈍を行なうことにより、Cr系窒化物の析出を有効に抑制できることを見出した。その一例を以下に示す。

#### 【0016】

まず、Sb: 0.045mass% を含有する表 1 のFe-Cr-Si系合金組成を有する鋼 10 について、2 条件の仕上げ焼鈍雰囲気 (窒素: 水素 = 70: 30 および 95: 5) とした以外は前記した製造方法と同一条件で製造した。図 3 (a) は窒素: 水素 = 70: 30 の雰囲気で行った仕上げ焼鈍の鋼板内部の断面 SEM 写真であり、同図 (b

)は鋼板表層のSEM写真である。図3(a)(b)よりCr系窒化物の析出が抑制されていることが分かる。しかし、窒素：水素=95：5の仕上げ焼鈍雰囲気においては、Cr系窒化物が粒界に存在しておりSb添加によるCr系窒化物析出抑制効果は確認できるが、析出抑制効果が不十分であることも確認した。

#### 【0017】

次に、Al：0.55mass%を含有する表1のFe-Cr-Si系合金組成を有する鋼11について、2条件の仕上げ焼鈍雰囲気（窒素：水素=70：30および95：5）とした以外は前記した製造方法と同一条件で製造した。図4(a)は窒素：水素=70：30の雰囲気で仕上げ焼鈍を施した鋼板内部の断面SEM写真であり、同図(b)は鋼板表層のSEM写真である。図4(a)(b)より、鋼板の最表層にAlN層の形成および表層5 $\mu$ m程度までにAlNの析出が見られ、その結果、Cr系窒化物の析出が抑制されていることが分かる。しかし、窒素：水素=95：5の仕上げ焼鈍雰囲気においては、Cr系窒化物は粒界に存在しており、析出抑制効果が不十分であることも確認した。

#### 【0018】

その他、窒化抑制元素Sbおよび窒化物生成元素Alを含有しない表1のFe-Cr-Si系合金組成を有する鋼4および鋼6をArガスのみの雰囲気で焼鈍した場合においても、同様に鋼の内部窒化が抑制されてCr系窒化物の析出が抑制されていることも確かめた。加えて、SbとAlを複合添加した場合、SbまたはAlの単独添加よりも、それぞれ少量の添加で単独添加鋼と同様のCr系窒化物の析出抑制効果があることも確かめた。さらに、SnもSbと同様な窒化抑制効果があることも確かめた。

#### 【0019】

また、表2は、鋼1～12のいずれかをを用いて製造された鋼板について、鋼板内部におけるCr系窒化物の個数、焼鈍後の窒化量および履歴損を測定した結果を示した。また、図5に鋼板内部におけるCr系窒化物の個数と履歴損との関係を示した。窒化物の個数と履歴損の関係をみると、良好な履歴損を得るためには、鋼板内部のCr系窒化物の存在割合が1mm<sup>3</sup>当たり2500個以下に抑制しなければならないことが判明した。この発明は、上記の知見に基づくものである。

#### 【0020】

【表 2】

鋼記号	板厚 (mm)	最終仕上焼鈍条件		窒化量 (ppm)	履歴損 Wh <sub>10/1k</sub> (W/kg)	Cr系窒化物 の個数 (個/mm <sup>3</sup> )
		焼鈍雰囲気	焼鈍温度 (°C)			
1	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =70:30	980	18	19.7	1.2×10 <sup>4</sup>
2	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =70:30	980	22	20.2	3.5×10 <sup>4</sup>
3	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =70:30	980	26	20.9	7.0×10 <sup>4</sup>
4	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =70:30	980	33	21.3	1×10 <sup>5</sup>
	0.25	Ar	980	-7	12.5	< 100
5	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =70:30	980	35	22.5	3.1×10 <sup>5</sup>
6	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =70:30	980	38	23.7	5.5×10 <sup>5</sup>
	0.25	Ar	980	-3	13.3	< 100
7	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =70:30	980	44	24.2	8×10 <sup>5</sup>
8	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =70:30	980	45	25.8	1.1×10 <sup>6</sup>
9	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =70:30	980	2	13.9	2000
10	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =70:30	980	0	13.4	1000
	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =95:5	980	13	19.2	6500
11	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =70:30	980	34	12.9	< 100
	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =95:5	980	31	19.5	7500
12	0.25	N <sub>2</sub> : H <sub>2</sub> =70:30	980	4	13.4	< 100

## 【0021】

この発明の要旨構成は、次の通りである。

(1) Si: 2.5 ~ 10.0 mass%、Cr: 1.5 ~ 20.0 mass%、C: 0.0060 mass%以下、N: 0.0020 mass%以下、S: 0.0050 mass%以下、Ti: 0.0050 mass%以下およびNb: 0.0050 mass%以下を含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなり、鋼の電気抵抗が $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上、鋼板内部のCr系窒化物の存在割合が $1\text{ m m}^3$ 当たり2500個以下であることを特徴とする、高周波磁気特性に優れたFe-Cr

—Si系無方向性電磁鋼板。

【0022】

(2) Si: 2.5 ~ 10.0 mass%、Cr: 1.5 ~ 20.0 mass%、C: 0.0060 mass%以下、N: 0.0020 mass%以下、S: 0.0050 mass%以下、Ti: 0.0050 mass%以下およびNb: 0.0050 mass%以下を含み、さらにSbおよびSnのいずれか1種または2種を、それぞれSb: 0.04超~1.0 mass%およびSn: 0.06超~1.0 mass%の範囲で含有し、残部がFeおよび不可避免の不純物からなり、鋼の電気抵抗が $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上、鋼板内部のCr系窒化物の存在割合が $1\text{mm}^3$ 当たり2500個以下であることを特徴とする、高周波磁気特性に優れたFe—Cr—Si系無方向性電磁鋼板。

【0023】

(3) Si: 2.5 ~ 10.0 mass%、Cr: 1.5 ~ 20.0 mass%、Al: 0.1 ~ 2.0 mass%、C: 0.0060 mass%以下、N: 0.0040 mass%以下、S: 0.0050 mass%以下、Ti: 0.0050 mass%以下およびNb: 0.0050 mass%以下を含有し、残部がFeおよび不可避免の不純物からなり、鋼の電気抵抗が $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上、鋼板内部のCr系窒化物の存在割合が $1\text{mm}^3$ 当たり2500個以下であることを特徴とする、高周波磁気特性に優れたFe—Cr—Si系無方向性電磁鋼板。

【0024】

(4) Si: 2.5 ~ 10.0 mass%、Cr: 1.5 ~ 20.0 mass%、Al: 0.1 ~ 2.0 mass%、C: 0.0060 mass%以下、N: 0.0040 mass%以下、S: 0.0050 mass%以下、Ti: 0.0050 mass%以下およびNb: 0.0050 mass%以下を含み、さらにSbおよびSnのいずれか1種または2種を、それぞれSb: 0.0050 ~ 1.0 mass%およびSn: 0.0050 ~ 1.0 mass%の範囲で含有し、残部がFeおよび不可避免の不純物からなり、鋼の電気抵抗が $60\mu\Omega\text{cm}$ 以上、鋼板内部のCr系窒化物の存在割合が $1\text{mm}^3$ 当たり2500個以下であることを特徴とする、高周波磁気特性に優れたFe—Cr—Si系無方向性電磁鋼板。

【0025】

(5) 上記(1)~(4)のいずれか1項において、さらにMn: 1.0 mass%以下およびP: 1.0 mass%以下のいずれか1種又は2種を含有することを特徴とする、高周波磁気特性に優れたFe—Cr—Si系無方向性電磁鋼板。

## 【0026】

この発明に従う無方向性電磁鋼板は、次の特徴を有するものである。

(a) Crを添加することによって高Si鋼の脆性が改善され、従来は製造が困難であった、高Si鋼の製造が可能になり、より高い電気抵抗が得られる。

(b) Crは脆性改善のみではなく、電気抵抗を高めるのにも有効な元素であり、SiとCrとの複合添加でより効率的に高い電気抵抗を得ることが可能になった。

(c) C、N、S、TiおよびNbなどの不純物濃度を十分に低減することにより、Cr添加による脆性改善効果が得られるとともに、析出物による履歴損劣化を防止できる。

(d) Arガス雰囲気などの窒化が起こらない雰囲気中でFe-Cr-Si鋼を焼鈍することで、窒化を抑制し、Cr系窒化物の析出量を2500個/mm<sup>3</sup>以下に制御することができる。

(e) Fe-Cr-Si系電磁鋼板に窒化抑制元素であるSbおよび／またはSnを添加するとともに、Sb、Snの添加量に合わせて窒素ガスの存在割合（窒素分圧）を調整することにより、焼鈍中の窒化を抑制し、Cr系窒化物の析出量を2500個/mm<sup>3</sup>以下に制御することができる。

(f) Fe-Cr-Si系電磁鋼板に窒化物生成元素であるAlを添加するとともに、Alの添加量に合わせて窒素ガスの存在割合（窒素分圧）を調整することにより、焼鈍中の内部窒化を抑制し、Cr系窒化物の析出量を2500個/mm<sup>3</sup>以下に制御することができる。

(g) Fe-Cr-Si系電磁鋼板に窒化抑制元素であるSbおよび／またはSnおよび窒化物生成元素であるAlを複合添加する場合は、Sb、SnまたはAlの単独添加時よりもそれぞれ少量の添加で単独添加鋼と同様に焼鈍中の窒化を抑制でき、さらに窒素ガスの存在割合を適宜調節することによりCr系窒化物の析出量を2500個/cm<sup>3</sup>以下に制御することができる。

## 【0027】

## 【発明の実施の形態】

以下、この発明を詳細に説明する。

まず、この発明の無方向性電磁鋼板における成分組成範囲の限定理由について

説明する。

【0028】

Si: 2.5 ~10.0 mass%

Siは、鋼の電気抵抗を上昇させる主要元素である。さらに、Crとの相乗効果によって電気抵抗を大幅に上昇させ、特に高周波数域での磁気特性を改善するのに有効な成分である。Si量が2.5 mass%未満では、Crを併用したとしても従来の電磁鋼板程度の電気抵抗しか得られず、このため良好な高周波磁気特性は得られない。一方、10 mass%を超えると、Crを含有させても通常圧延可能な靱性を確保できないため、Si含有量は2.5 ~10.0mass%と規定する。

【0029】

Cr: 1.5 ~20.0 mass%

Crは、Siとの相乗効果によって鋼の固有抵抗を大幅に向上させ、更には耐食性を向上させる基本的な合金成分である。しかも、3.5 mass%以上のSi含有量の場合、または3 mass%以上のSi含有量でかつ0.5 mass%を超えるAl含有量の場合であっても、通常の圧延可能な程度の靱性を得るのに極めて有効な元素であり、その観点からは2 mass%以上とする。Si量やAl量が上記の場合よりも少ない場合、Cr量を更に減じても加工性は確保できるが、Cr含有による脆性改善効果および高電気抵抗化を実現するためには、1.5 mass %以上のCr量が必須である。一方、20 mass%を超えると靱性向上効果が飽和するとともに、コスト上昇を招くため、Cr含有量は1.5 ~20 mass%と規定する。

【0030】

Sb: 0.04超~1.0 mass%およびSn: 0.06超~1.0 mass%のいずれか1種または2種（鋼中にAlを添加しない場合）、

Sb: 0.0050~1.0 mass%およびSn: 0.0050~1.0 mass%のいずれか1種または2種（鋼中にAlを添加する場合）

SnおよびSbは、いずれも窒化を抑制する効果があるため、これらの成分を加えた鋼であれば、SnやSbを加えない鋼に比べて、仕上げ焼鈍時の窒素ガスの割合が高くても、Cr系窒化物の析出を有効に抑制することができる。このように焼鈍時の窒化によるCr系窒化物の析出を抑制し、履歴損劣化を防止できるため、Fe-Cr

—Si系電磁鋼板におけるSnおよび／またはSbの添加は、従来の電磁鋼板の場合よりも磁気特性改善効果は大きい。従って、この発明では、鋼中にAlを添加しない成分系をもつ電磁鋼板の場合には、SbおよびSnのいずれか1種または2種を、それぞれ0.04超～1.0 mass%および0.06超～1.0 mass%の範囲で添加することができる。すなわち、Sn、Sbがいずれも1.0 mass%を超えると、上記効果が飽和するばかりでなく、コスト上昇を招くことから、1.0 mass%を上限とし、また、前述した効果を十分に得るため、SbおよびSnの含有量の下限は、それぞれ0.04 mass%超および0.06 mass%超とする。

### 【0031】

一方、SnおよびSbに併せてAlを複合添加する場合は、SbおよびSnのいずれか1種または2種を、それぞれSb:0.0050～1.0 mass%およびSn:0.0050～1.0 mass%の範囲で添加させることができる。SnおよびSbが1.0 mass%を超えると効果が飽和し、コスト上昇もまねくことから、1.0 mass%を上限とする。下限はAlとの複合添加による相乗効果により、0.0050mass%以上の含有で前述した野と同様な効果が生じる。なお、Sn、Sbは窒化抑制効果に加えて集合組織改善効果もあることから、鋼板の磁気特性向上にさらに寄与する。

### 【0032】

Al:0.1～2.0 mass%

Alは、Crよりも強力な窒化物生成元素であり、焼鈍中に鋼板表層より侵入する窒素と鋼板表層で結びつき、鋼板最表層にAlN層の形成、その内側にAlNを析出する。これにより鋼板内部への浸窒が防止され、その結果、鋼板内部での窒化によるCr系窒化物の析出を抑制することができるので、必要に応じて鋼中に添加することができる。従来の電磁鋼板では、鋼板表層のAlN析出は磁気特性を劣化させるので抑制する必要があった。しかしながら、Fe—Cr—Si系電磁鋼板に関しては、このAlN析出は磁気特性改善に非常に有効なものである。また、Alは鋼溶製時からの含有窒素と粗大AlNを形成し、鋼溶製時からの含有窒素によるCr系窒化物析出も抑制する効果もある。高Al量を添加すると、電気抵抗を高めることができるという有利な面もあるが、磁束密度の低下がSiの添加より大きい。高電気抵抗はSiとCrの複合添加により達成可能であるので、高電気抵抗と高磁束密度の

双方を満足させるという観点から、Al添加量は少ない方が好ましい。さらに、高Al量の添加は靱性劣化を招くことから、製造性の観点からもAl添加量は少ないほうが好ましい。しかし、Al量が少なすぎるとCr系窒化物を抑制する効果は無くなってしまう。よって、Al添加量は0.10～2.0 mass%、好ましくは0.10～1.0 mass%以下と規定する。

### 【0033】

Mn: 1.0 mass%以下およびP: 1.0 mass%以下のいずれか1種または2種

MnおよびPは、添加することにより更に電気抵抗を高めることが可能で、この発明の趣旨を損なうことなく、更なる磁気特性の改善が達成できる。よって、MnおよびPから選ばれる1種あるいは2種を必要に応じて添加することができる。しかし、これらの元素を大量に添加すると加工性が劣化するので、ともに1.0 mass%を上限とする。より好ましくは0.5 mass%以下がよい。なお、MnおよびPは微量の添加で効果が得られるから、とくに下限を設ける必要はなく、例えばMn: 0.04mass%以上およびP: 0.01mass%以上であれば十分である。

### 【0034】

C: 0.0060 mass%以下

Cは、Fe-Cr-Si系電磁鋼板の靱性を劣化させるため、できる限り低減することが望ましく、この発明の成分範囲においてC量は0.0060mass%以下に抑える必要がある。また、Cr系炭化物などの析出物による履歴損を防止する観点からも、C量は0.0060mass%以下に抑える必要がある。

### 【0035】

N: 0.0020 mass%以下（鋼中にAlを添加しない場合）、

0.0040 mass%以下（鋼中にAlを添加する場合）

Nは、Crと非常に結びつきやすくCr系窒化物を析出させる。よって、履歴損劣化の観点から、鋼中にAlを添加しない成分系をもつ電磁鋼板の場合には、N量は0.0020 mass%以下に低減する必要がある。一方、鋼中にAlを添加した成分系をもつ電磁鋼板の場合には、NはAlと結びつき、窒化および鋼中窒素によるCr系窒化物の析出が抑制されるため、N量は0.0040 mass%以下まで含有させることが可能となる。また、N量が多くなると靱性劣化を招くため、できるだけ低減する



ことが好ましく、靱性劣化の観点からも N 量は 0.0040 mass% 以下に抑える必要がある。

#### 【0036】

S : 0.0050 mass% 以下

S は、MnS や CuS といった析出物を生成し、履歴損を劣化させるので履歴損改善の観点から、S 量は 0.0050 mass% 以下に抑える必要がある。

#### 【0037】

Ti : 0.0050 mass% 以下、Nb : 0.0050 mass% 以下

Ti および Nb はいずれも、通常の Cr 含有鋼における加工性改善成分である反面、磁気特性を劣化させる成分である。この発明における加工性の改善は、Cr 添加と C および N を低減させることで達成するため、Ti および Nb が有する加工性改善作用は必要としない。このため、Ti、Nb は磁気特性の観点からできるだけ低減するのが望ましく、その許容量は Ti、Nb 共に 0.0050 mass% 以下に抑える必要がある。

#### 【0038】

なお、O、V、Cu 等の不可避的不純物についても、磁気特性および加工性両方の観点からできる限り低減することがより好ましい。

#### 【0039】

高周波特性を改善するためには、鋼の電気抵抗を高めることが非常に有効である。この発明では、鋼の電気抵抗が少なくとも  $60 \mu \Omega \text{ cm}$  以上が望ましい。 $60 \mu \Omega \text{ cm}$  未満では、高周波磁気特性が十分に得られず、従来の Cr を積極的に添加しない電磁鋼板によっても容易に達成可能だからである。

#### 【0040】

図 5 に示したように良好な履歴損を得るためには、鋼板内部の Cr 系窒化物の存在割合を  $1 \text{ mm}^3$  当たり 2500 個以下に制御する必要がある。 $2500 \text{ 個/mm}^3$  超えでは履歴損が急激に劣化し、十分な高周波鉄損が得られない。Cr 系窒化物の制御は、窒化抑制元素 Sn、Sb および窒化物生成元素 Al を添加し、さらに雰囲気中への  $\text{H}_2$  ガスや Ar ガス等の  $\text{N}_2$  ガス以外の導入量を変更することによって達成される。窒化抑制元素 Sn、Sb および窒化物生成元素 Al を添加しない成分系に関しては、窒素

を含まない雰囲気 ( $N_2$ ガス以外の  $H_2$ ガス、Arガス等の非窒化性ガス) で焼鈍を行ったり、窒素分圧を非常に低くしたりすることによって達成される。

#### 【0041】

次に、この発明の無方向性電磁鋼板の製造プロセスについて説明する。製鋼、熱間圧延、冷間圧延および最終仕上げ焼鈍プロセスのすべてについて、公知の無方向性電磁鋼板の製造方法が適用できる。

#### 【0042】

仕上げ焼鈍プロセスにおいて、無方向性電磁鋼板では窒素ガスと水素ガスからなる還元性雰囲気が一般に用いられている。本発明の鋼においては、窒化を抑制してCr系窒化物の析出量を  $2500\text{個}/\text{mm}^3$  以下に制御する為に、Arガス雰囲気などの窒化が起らない雰囲気中で焼鈍を行うか、あるいは、窒化抑制元素であるSb、Snおよび/または窒化物生成元素であるAlを鋼板素材に添加するとともに、これらの添加量に合わせて窒素ガスの存在割合 (窒素分圧) を適宜調節する必要がある。すなわち、本発明では、窒素と水素ガスからなる雰囲気中の水素ガスの存在割合を増加させたり、窒素ガスの少なくとも一部をArガスなどの窒素ガス以外に置換して、Cr系窒化物の析出量を  $2500\text{個}/\text{mm}^3$  以下に制御する。ただし、窒化抑制元素Sn、Sbおよび窒化物生成元素Alを添加しない本発明組成の鋼に関しては、焼鈍雰囲気に窒素ガスを全く用いないか、窒素分圧を非常に低く低減するなどによりCr系窒化物の析出量を  $2500\text{個}/\text{mm}^3$  以下に制御する必要がある。

#### 【0043】

また、窒化能は高温焼鈍の方が高く、本発明の効果は仕上げ焼鈍温度が  $900^\circ\text{C}$  よりも高い場合においてより顕著となる。前記の雰囲気制御は、各仕上げ焼鈍温度における窒化量の実積に基づいて適宜行なうことが好ましい。

#### 【0044】

この発明の鋼板においては、板厚を減じれば高周波磁気特性改善の効果が促進されるが、数100Hz以上の高周波数域で、この減厚の効果を格段に得るためには、板厚を  $0.4\text{mm}$  以下にすることが望ましい。ただし、板厚を  $0.01\text{mm}$  より薄くすると、製造コストが高くなるため、板厚の範囲は  $0.01\sim 0.4\text{mm}$  とすることが好ましい。

## 【0045】

## 【実施例】

## (実施例1)

表3に示す組成成分を含み、残部がFeおよび不可避免の不純物からなる鋼を溶製し、熱間圧延を行なって、全て厚さ2.0mmの熱延板とした。次いで、必要に応じて熱延板に熱延板焼鈍を施し、一回または二回冷延法で最終仕上げ厚さ0.25mmまたは0.15mmとした後、980℃で10秒の最終仕上げ焼鈍を施した。かくして得られた鋼板をエプスタイン試料に切りだし、その磁気特性を測定した。

## 【0046】

ここに、電気抵抗、製品板の板厚、最終仕上げ焼鈍における雰囲気ガス、焼鈍温度、鉄損、焼鈍後の鋼板全体の窒化量、鋼板内部の窒化量および鋼板内部の含有窒素量、並びにCr系窒化物の析出量をそれぞれ表4および表5にまとめて示す。

## 【0047】

【表 3】

鋼記号	成 分 組 成												
	C (ppm)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (ppm)	Al (%)	N (ppm)	O (ppm)	Sb (%)	Sn (%)	Ti (%)	Nb (%)	Cr (%)
A	13	3	0.01	0.002	10	0.005	14	18	≤0.001	≤0.001	≤0.001	≤0.001	0.001
B	18	2.96	0.02	0.002	10	0.55	11	15	0.03	≤0.001	≤0.001	≤0.001	0.001
C	15	3.35	0.01	0.002	10	0.005	16	11	≤0.001	≤0.001	≤0.001	≤0.001	3.01
D	11	3.48	0.01	0.002	10	0.004	48	17	≤0.001	0.08	≤0.001	≤0.001	2.95
E	9	3.2	0.01	0.001	10	0.005	8	10	0.045	≤0.001	≤0.001	≤0.001	3
F	11	3.3	0.01	0.1	15	0.005	9	18	≤0.001	0.065	≤0.001	≤0.001	2.98
G	18	2.9	0.02	0.001	10	0.55	28	14	≤0.001	≤0.001	≤0.001	≤0.001	3.2
H	18	3.1	0.3	0.002	10	0.98	21	16	≤0.001	≤0.001	≤0.001	≤0.001	3.05
I	20	3.4	0.02	0.001	10	0.35	27	18	≤0.001	0.01	≤0.001	≤0.001	3
J	16	3	0.02	0.001	10	0.65	19	15	0.02	0.03	≤0.001	≤0.001	3.04
K	21	3	0.01	0.002	10	0.005	14	16	≤0.001	≤0.001	≤0.001	≤0.001	4.5
L	18	3.1	0.01	0.001	10	0.005	5	14	0.05	≤0.001	≤0.001	≤0.001	4.45
M	12	3.05	0.01	0.001	15	0.44	53	14	≤0.001	≤0.001	≤0.001	≤0.001	4.4
N	25	4.05	0.3	0.1	10	0.5	20	10	≤0.001	0.05	≤0.001	≤0.001	3.05
O	19	3.4	0.02	0.001	15	0.35	14	18	0.04	≤0.001	≤0.001	≤0.001	4.1
P	10	3.1	0.02	0.001	15	0.7	17	13	≤0.001	≤0.001	≤0.001	≤0.001	4.49
Q	9	4.5	0.01	0.002	7	0.005	10	11	≤0.001	≤0.001	≤0.001	≤0.001	4
R	11	4.45	0.01	0.001	10	0.005	11	18	≤0.002	0.07	≤0.001	≤0.001	3.9
S	24	4.2	0.01	0.001	10	0.7	28	20	≤0.001	0.03	≤0.001	≤0.001	4.01
T	21	4.4	0.01	0.001	10	0.45	18	18	≤0.001	≤0.001	≤0.001	≤0.001	3.78
U	19	4.51	0.02	0.0015	7	0.55	18	13	0.03	0.02	≤0.001	≤0.001	3.6
V	7	5.6	0.01	0.001	15	0.005	6	20	0.05	0.03	≤0.001	≤0.001	5.5

【0048】

【表 4】

鋼記号	電気抵抗 ( $\mu\Omega\text{cm}$ )	板厚 (mm)	最終仕上焼鈍条件		鉄損 $W_{10/1k}$ (W/kg)	鋼板全体 の窒化量 (ppm)	鋼板内部の 窒化量 (ppm)	鋼板内部の 含有窒化量 (ppm)	Cr系窒化物 の析出量 (個/ $\text{mm}^3$ )	備考
			焼鈍雰囲気	焼鈍温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )						
A	47.74	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	47.98	2	1	15	<100	比較例
B	51.66	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	46.23	5	2	13	<100	比較例
C	68.52	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	49.31	30	28	44	$3.5 \times 10^5$	比較例
	68.52	0.25	Ar	980	41.01	-11	-11	5	<100	発明例
D	69.62	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	48.26	3	0	48	$4.2 \times 10^5$	比較例
E	66.78	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	42.05	2	1	9	800	発明例
	66.78	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 95 : 5$	980	47.85	15	14	22	7500	比較例
	66.78	0.25	Ar	980	41.89	1	0	8	<100	発明例
	67.79	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	41.56	3	0	9	1000	発明例
F	67.79	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 95 : 5$	980	47.36	18	16	25	8000	比較例
	68.91	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	41.77	28	2	30	1200	発明例
	68.91	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 95 : 5$	980	47.27	30	15	43	6000	比較例
	68.91	0.25	Ar	980	40.55	1	0	28	<100	発明例
H	73.74	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	39.05	31	3	24	<100	発明例
I	71.78	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	39.41	5	1	17	<100	発明例
	71.78	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 95 : 5$	980	45.59	23	15	42	7000	比較例
	71.78	0.25	Ar	980	39.54	0	0	16	<100	発明例

【0049】

【表5】

鋼記号	電気抵抗 ( $\mu\Omega\text{cm}$ )	板厚 (mm)	最終仕上焼鈍条件		鉄損 $W_{10/1k}$ (W/kg)	鋼板全体の 酸化量 (ppm)	鋼板内部の 酸化量 (ppm)	鋼板内部の 含有酸化量 (ppm)	Cr系氧化物 の析出量 (個/ $\text{mm}^3$ )	備考
			焼鈍雰囲気	焼鈍温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )						
J	69.92	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	40.32	6	1	20	<100	発明例
K	72.94	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	50.23	43	42	56	$1.5 \times 10^5$	比較例
	72.94	0.25	Ar	980	39.66	-9	-9	5	<100	発明例
L	73.78	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	39.89	1	1	6	<100	発明例
M	76.42	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	48.99	38	2	55	$8.0 \times 10^5$	比較例
N	80.54	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	37.82	4	1	21	<100	発明例
O	77.94	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	38.54	4	0	14	<100	発明例
P	79.56	0.25	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	980	37.95	35	3	20	<100	発明例
	79.56	0.25	Ar	980	38.41	1	1	18	<100	発明例
Q	86.94	0.15	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	1040	37.03	48	47	59	$1.5 \times 10^5$	比較例
	86.94	0.15	Ar	1040	26.69	-5	-5	5	<100	発明例
R	85.82	0.15	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	1040	27.95	3	1	12	<100	発明例
S	89.2	0.15	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	1040	26.84	7	2	30	<100	発明例
T	88.15	0.15	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	1040	27.12	39	3	21	<100	発明例
U	89.17	0.15	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	1040	26.31	4	1	19	<100	発明例
V	107.66	0.15	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	1040	20.85	3	2	8	<100	発明例

【0050】

Cr非添加鋼である鋼A、Bは電気抵抗が本発明の範囲外であるため磁気特性が不十分である。鋼中の窒素含有量が本発明範囲外である鋼D、Mは、Al、Sn、Sbを添加しても、Cr系窒化物が析出し、磁気特性が不十分である。Al、SbおよびSn非添加の鋼C、K、Qは、焼鈍雰囲気を制御しない場合には、焼鈍時の窒化により、Cr系窒化物が析出し、磁気特性が不十分であるが、一方、焼鈍雰囲気をAr雰囲気にし、窒化を抑制するとCr系窒化物の析出が抑制され、良好な磁気特性を示した。Sn、Sbを一種類以上添加した鋼E、F、L、R、Vは、焼鈍雰囲気を窒素分圧を低下させるなどして焼鈍雰囲気を制御した場合には、Cr系窒化物の析出が抑制され良好な磁気特性を示す。一方で、雰囲気制御を実施せず、高い窒素分圧で焼鈍を行なうと、Sn、Sb添加による窒化抑制効果が不十分で、Cr系窒化物の析出量を2500個/mm<sup>3</sup>以下に抑制できず、磁気特性が不十分であった。

#### 【0051】

SbおよびSn非添加でかつAl添加の鋼G、H、P、Tでは、窒化により最表層にAlNが形成されるため焼鈍後の窒素含有量は高くなるが、このAlNの形成により鋼板内部の窒素含有量が高くないため、Al添加に加えて焼鈍雰囲気を制御した場合、窒化が抑制され良好な磁気特性を示した。一方、雰囲気制御を実施せず、高い窒素分圧で焼鈍を行なうと、Al添加による窒化抑制効果が不十分で、Cr系窒化物の析出量を2500個/mm<sup>3</sup>以下に抑制できず、磁気特性が不十分であった。またSn、SbそしてAlを複合添加した鋼I、J、N、O、S、UではSn、Sb添加による窒化抑制とAl添加による鋼板表層でのAlN形成によって窒化によるCr系窒化物の析出が抑制され、良好な磁気特性を示した。一方、雰囲気制御を実施せず、高い窒素分圧で焼鈍を行なうと、複合添加による窒化抑制効果が不十分で、Cr系窒化物の析出量を2500個/mm<sup>3</sup>以下に抑制できず、磁気特性が不十分であった。これらSn、Sb、Alを一種類以上添加した鋼では当然のことながら、窒化が起らないAr雰囲気中の焼鈍においても良好な磁気特性を示した。

#### 【0052】

##### (実施例2)

表3に示す鋼Q、R、S、Tに関しては、実施例1と同様の方法で最終仕上げ厚さ0.15mmとした後、900℃で10秒の最終仕上げ焼鈍を施し、より高周波域での

磁気特性を測定した。その測定結果を表6に示す。

【0053】

【表6】

鋼記号	電気抵抗 ( $\mu\Omega\text{cm}$ )	板厚 (mm)	最終仕上焼鈍条件		鉄損 $W_{0.5/20k}$ (W/kg)	Cr系窒化物 の析出量 (個/ $\text{mm}^3$ )	備考
			焼鈍雰囲気	焼鈍温度 ( $^{\circ}\text{C}$ )			
Q	86.94	0.15	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	900	10.25	$8 \times 10^5$	比較例
	86.94	0.15	Ar	900	8.42	$< 100$	発明例
R	85.82	0.15	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	900	8.64	$< 100$	発明例
S	89.2	0.15	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	900	8.43	$< 100$	発明例
T	88.15	0.15	$\text{N}_2 : \text{H}_2 = 70 : 30$	900	8.55	$< 100$	発明例

【0054】

実施例1と同様にAl、SbおよびSn非添加の鋼Qは、焼鈍雰囲気を制御しない場合には、焼鈍時の窒化により、Cr系窒化物が析出し、磁気特性が不十分であるが



、一方、焼鈍雰囲気をAr雰囲気にし、窒化を抑制するとCr系窒化物の析出が抑制され、良好な磁気特性を示した。Al、Sn、Sbを一種類以上添加している鋼R、S、TはCr系窒化物の析出が本発明範囲内に抑制され、良好な磁気特性を示した。

【0055】

【発明の効果】

以上述べたように、この発明の無方向性電磁鋼板は、優れた高周波磁気特性を有し、高周波域で使用される機器、例えば電気自動車用モータ、マイクロガスタービン用発電機および高周波リアクトル等に最適であり、その工業的価値は大きなものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】 Cr系窒化物が微細析出した鋼板内部の断面SEM写真である。

【図2】 鋼中のCr含有量を横軸とし、仕上げ焼鈍時の窒化量および履歴損を縦軸としてこれらの関係の一例を示したグラフである。

【図3】 この発明に従う電磁鋼板（Sb添加）添加を仕上げ焼鈍した後に撮影したときのSEM写真であり、(a)が鋼板断面、(b)が鋼板表面を示す。

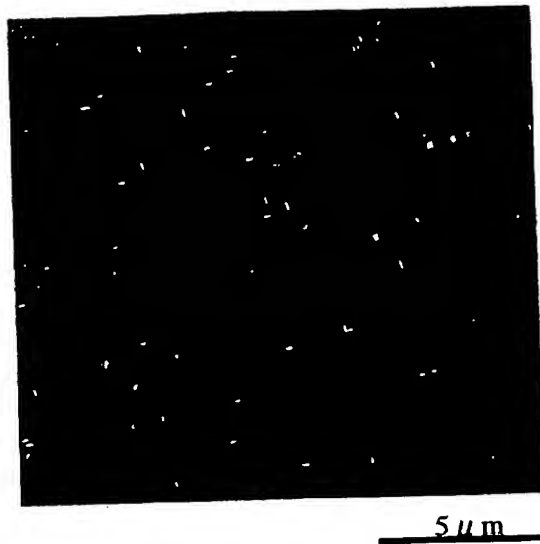
【図4】 この発明に従う他の電磁鋼板（Al添加）を仕上げ焼鈍した後に撮影したときのSEM写真であり、(a)が鋼板断面、(b)が鋼板表面を示す。

【図5】 種々の鋼板について、鋼板内部におけるCr系窒化物の個数と履歴損との関係を示すグラフである。

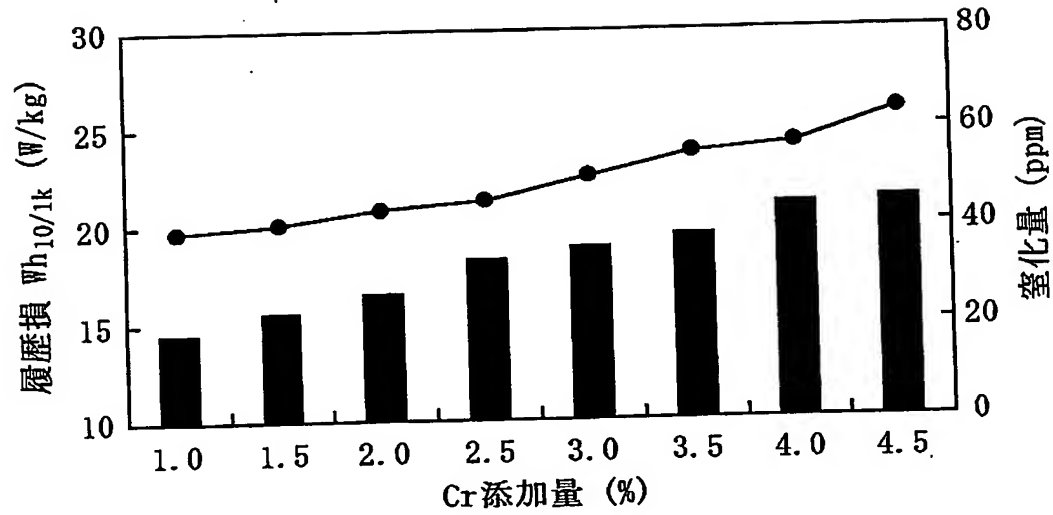
【書類名】

図面

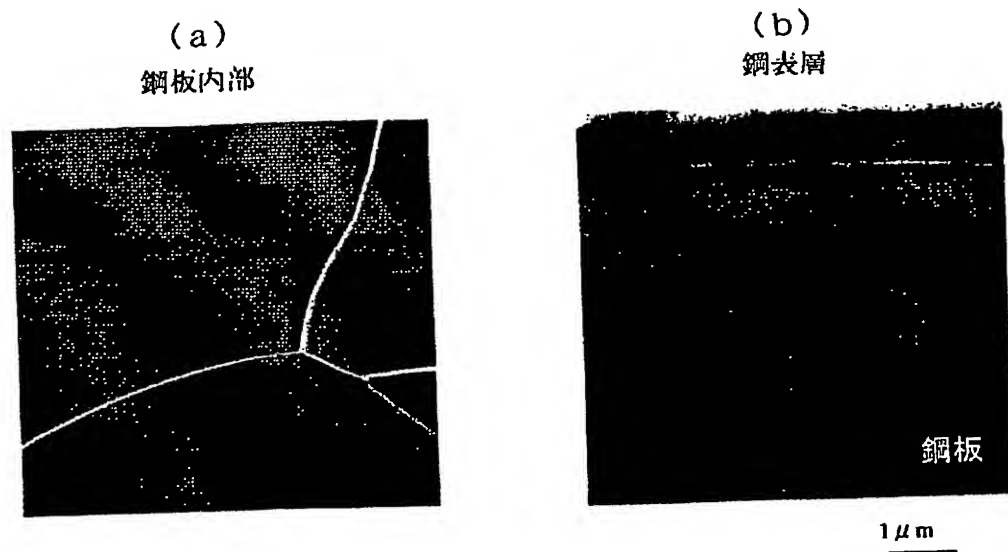
【図 1】



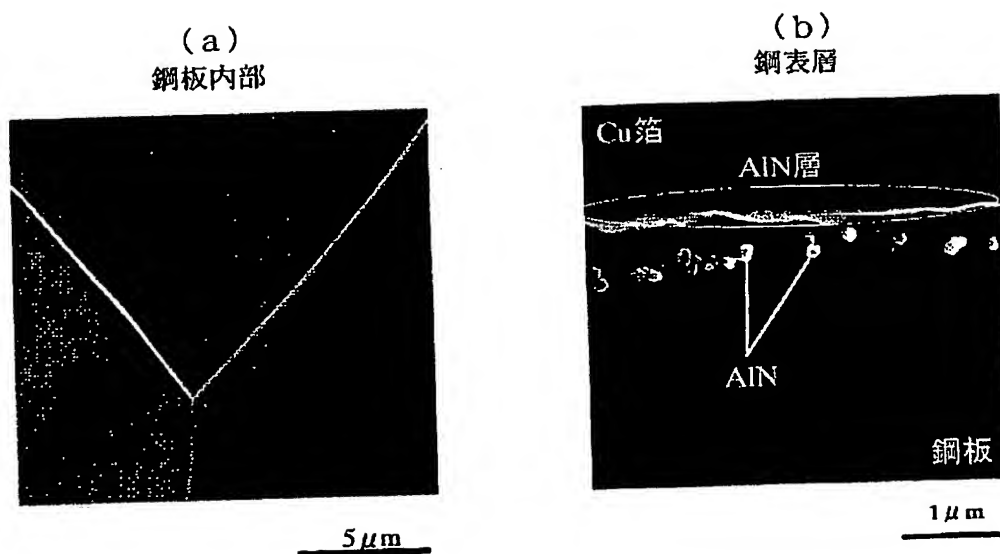
【図 2】



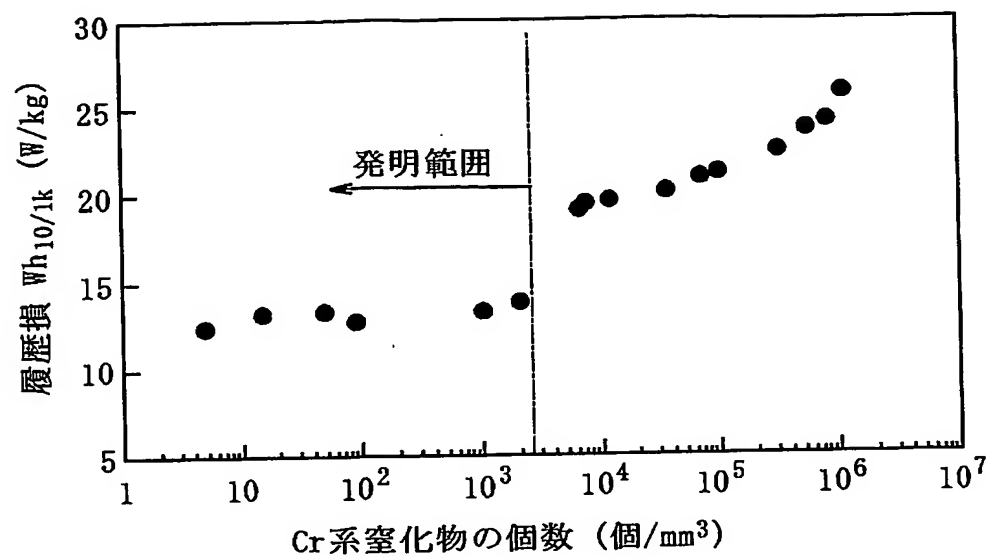
【図 3】



【図 4】



【図5】



【書類名】

要約書

【要約】

【課題】 高Si並びに高Cr含有によって得られる高い電気抵抗が10kHz以下の高周波域では、十分に活用されていない問題を有利に解決し、高周波域、特に1kHz以上の周波数域で磁気特性に優れたFe-Cr-Si系無方向性電磁鋼板を提供する。

【解決手段】 Si : 2.5 ~ 10.0 mass%、Cr : 1.5 ~ 20.0 mass%、C : 0.0060 mass%以下、N : 0.0020 mass%以下、S : 0.0050 mass%以下、Ti : 0.0050 mass%以下およびNb : 0.0050 mass%以下を含有するとともに、必要に応じて、Al : 0.1 ~ 2.0 mass%や、SbおよびSnのいずれか1種または2種を、それぞれSb : 0.0050 ~ 1.0 mass%およびSn : 0.0050 ~ 1.0 mass%の範囲で含有し、残部がFeおよび不可避免的不純物からなり、鋼の電気抵抗が $60 \mu \Omega \text{cm}$ 以上、鋼板内部のCr系窒化物の存在割合が $1 \text{mm}^3$ 当たり2500個以下であることを特徴とする。

【選択図】

図 5

特願 2 0 0 2 - 3 7 1 9 4 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 1 2 5 8 ]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 1 3 日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 兵庫県神戸市中央区北本町通 1 丁目 1 番 2 8 号  
氏 名 川崎製鉄株式会社
2. 変更年月日 2 0 0 3 年 4 月 1 日  
[変更理由] 名称変更  
住所変更  
住 所 東京都千代田区内幸町二丁目 2 番 3 号  
氏 名 J F E スチール株式会社

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**